

面向“十二五”高等院校人才培养规划教材

J I X I E S H E J I J I C H U

机械设计基础

主 编 钟礼东 许 玢



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

机械设计基础

主编 钟礼东 许 玢
参编 沈晓玲 涂 嘉 朱爱华
曹爱文 槐创锋



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 提 要

本书依据教育部有关机械设计基础的教学要求和编者多年的教学经验而编写。本书注重基本概念及基本原理的阐述,突出应用教学。全书共分 17 章,包括绪论、机械设计基础总论、平面机构的自由度和运动分析、平面连杆机构、凸轮机构、其他常见机构、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、带传动与链传动、螺纹连接、轴毂连接、轴、轴承、联轴器和离合器、弹簧、机械的调速与平衡等。

本书可作为大学本科、专科近机械类,以及非机械类机械设计基础课程教材,也可供有关的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 钟礼东, 许玢主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-308-12754-7

I. ①机… II. ①钟… ②许… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 002432 号

机械设计基础

主编 钟礼东 许 玢

责任编辑 邹小宁

文字编辑 吴琦骏

封面设计 王聪聪

出 版 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州朝曦图文设计有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.75

字 数 410 千

版 次 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12754-7

定 价 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

机械设计基础课程是工科专业必修的一门主干技术基础课。本书根据拓宽专业口径、淡化专业意识、拓宽基础、加强素质教育和能力培养等教改精神,对机械设计基础课程内容进行了整体优化与整合,结合编者多年的教学实践而编写。

本书以机械系统分析和设计为主线,突出机械系统和整体机械的设计,将机械原理和机械零件设计相关内容进行有机整合;在保证基本内容的前提下,精简压缩了一般内容,尽量避免重复,简化公式的演绎推导,使全书结构紧凑,内容精炼,有助于学生提高机械设计能力,特别是整机设计的能力。

本书全部采用最新的标准和规范,有利于教学,便于使用。

为加强教学的适应性,注重能力的培养,本书配有辅导教材。

本书由华东交通大学钟礼东、许玢、沈晓玲、涂嘉、朱爱华、曹爱文、槐创锋等编写。由钟礼东、许玢担任主编。

鉴于编者水平有限,书中错误和欠妥之处在所难免,殷切希望读者批评指正。对本书意见请寄:南昌华东交通大学机电学院机械设计教研室(邮编 330013)。

编 者

2013 年 9 月

目 录

第一篇 总 论

第一章 绪 论	3
第一节 机械的组成	3
第二节 本课程的内容、性质和任务	4
第二章 机械设计基础总论	5
第一节 机械设计的基本要求和一般程序	5
第二节 机械零件的工作能力和计算准则	6
第三节 机械零件的常用材料	12
第四节 机械零件的工艺性和标准化	15
第五节 机械设计的新发展	16

第二篇 机械传动机构

第三章 平面机构的自由度和运动分析	21
第一节 概述	21
第二节 机构的组成	21
第三节 平面机构的运动简图	23
第四节 平面机构的自由度及具有确定运动的条件	25
第五节 速度瞬心在机构运动分析中的应用	30
第四章 平面连杆机构	33
第一节 概述	33
第二节 平面四杆机构的基本形式	33
第三节 平面四杆机构的演化形式	36
第四节 平面四杆机构存在曲柄的条件	39
第五节 平面四杆机构的基本特性	40
第六节 平面四杆机构的运动设计	44
第五章 凸轮机构	49
第一节 概述	49
第二节 凸轮机构的分类	50
第三节 从动件的几种常用运动规律	51
第四节 盘形凸轮轮廓曲线的设计	55

第五节 凸轮机构的基本尺寸设计	60
第六章 其他常见机构	64
第一节 间歇运动机构	64
第二节 螺旋传动	68
第七章 齿轮传动	74
第一节 概述	74
第二节 齿轮传动的基本理论	75
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	78
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮啮合传动分析	82
第五节 渐开线齿轮轮齿的切削加工	86
第六节 渐开线变位齿轮传动简介	90
第七节 轮齿传动的失效形式和齿轮材料	93
第八节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	97
第九节 斜齿圆柱齿轮传动	104
第十节 直齿锥齿轮传动	112
第十一节 齿轮的结构设计	117
第八章 蜗杆传动	119
第一节 蜗杆传动的特点和类型	119
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	121
第三节 蜗杆传动的转动方向和滑动速度	125
第四节 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	125
第五节 蜗杆传动的受力分析和强度计算	127
第六节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	129
第九章 轮 系	133
第一节 概述	133
第二节 定轴轮系及传动比	133
第三节 周转轮系及传动比	135
第四节 混合轮系及传动比	138
第五节 轮系的功用	139
第十章 带传动与链传动	142
第一节 带传动的类型和应用	142
第二节 带传动的工作情况分析	143
第三节 普通 V 带传动的计算	146
第四节 V 带轮的结构	155
第五节 V 带传动的张紧装置	157
第六节 同步带简介	158
第七节 链传动简介	158

第三篇 连 接

第十一章 螺纹连接	165
第一节 螺纹参数和类型	165
第二节 螺纹副的受力分析、效率和自锁	169
第三节 螺纹连接和螺纹连接件	172
第四节 螺栓连接的强度计算	177
第五节 螺纹连接件的材料和许用应力	183
第六节 设计螺纹连接时应注意的问题	185
第十二章 轴毂连接	189
第一节 键连接	189
第二节 花键连接	193
第三节 销连接	194

第四篇 轴系零部件

第十三章 轴	199
第一节 概述	199
第二节 轴的材料	200
第三节 轴的结构设计	201
第四节 轴的强度和刚度计算	207
第十四章 轴 承	214
第一节 概述	214
第二节 滑动轴承	214
第三节 滚动轴承的类型和代号	220
第四节 滚动轴承的选择计算	223
第五节 轴承装置的设计	228
第十五章 联轴器和离合器	238
第一节 概述	238
第二节 联轴器	239
第三节 离合器	244

第五篇 其 他

第十六章 弹 簧	249
第一节 概述	249
第二节 圆柱螺旋弹簧的结构和几何尺寸	250
第三节 圆柱螺旋弹簧的制造、材料和许用应力	252
第四节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	254
第五节 其他弹簧简介	261

第十七章 机械的调速与平衡.....	264
第一节 机械的运转及速度波动的调节.....	264
第二节 机械的平衡.....	271
参考文献	275

第一篇 总 论

第一章 绪 论

第一节 机械的组成

一、机器、机构和机械

机器是人类发明的产物。在现代社会中,人们的工作质量和生活质量都与之密切相关。机器的设计、制造和使用水平,在一定程度上都反映出一个国家的现代化发展水平。

机器的种类很多,如内燃机、起重机、电动机、汽车及各种机床等,它们的构造相异、性能与用途各不相同,但从它们的组成、运动的确定性及功能转换关系来看,机器具有以下三个共同的特征:

(1)它们都是一种人为的实物组合体。

(2)组成它们各部分之间都具有确定的相对运动。

(3)可用来完成有用的机械功(如机械手代替人的工作)或转换机械能(如内燃机将热能转换成机械能)或处理信息。

机构具备了机器的前两个特征。若撇开机器在做功和转换能量方面的功能,仅从结构和运动的观点来看,机器与机构并无区别,因此,习惯上把“机械”作为机器与机构的总称。

从运动的角度来看,机器是由若干个可以相对运动的构件组装而成的。构件是机器中最小的运动单元。它可以是单一的整体,如图 1-1 所示曲轴;也可以是由几个零件组成的刚性结构,如图 1-2 所示的连杆。连杆是由连杆体 1、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、连杆盖 5、轴瓦 6、轴套 7 等多个零件组成。

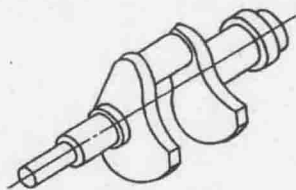


图 1-1 曲轴

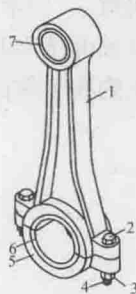


图 1-2 连杆

1-连杆体;2-螺栓;3-螺母;4-开口销;
5-连杆盖;6-轴瓦;7-轴套

二、零件与部件

从制造的角度来看,任何机器都是由若干个机械零件(如螺钉、螺母、齿轮、轴等)装配而成的。机械零件是机器最基本的组成要素,它是制造的单元。

机械零件有通用零件和专用零件之分。凡是在各类机械中都能遇到的,如齿轮、轴、螺钉等为通用零件;只出现在某些机械中,如汽轮机的叶片、内燃机的活塞、织布机中的梭子等为专用零件。另外还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件,如减速器、联轴器、滚动轴承等。

三、机械的组成

随着近代科学技术的发展,机器与机构的概念也有了相应的变化。在某些情况下,机构中除刚体外,液体和气体也参与运动的变换。有些机器还包含了使其内部各机构正常动作的控制系统和信息处理与传递系统等。因此,一部完整的机器常有原动部分、传动部分、执行部分以及控制系统等组成,如图 1-3 所示。

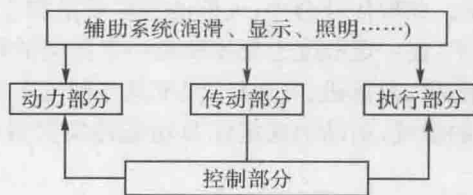


图 1-3 机器的组成

总之,现代机器不仅可以代替人的体力劳动,而且还可以代替人的脑力劳动,传递运动和动力外,还具有变换或传递能量、物料和信息的功能。

第二节 本课程的内容、性质和任务

机械设计基础主要研究常用机构和通用零件的工作原理、结构特点以及它们的设计理论和方法,同时介绍相关的国家标准和规范,以及某些标准零件的选择原则和方法。

本课程是一门综合应用数学、力学、机械制图、工程材料及加工工艺基础等基本理论知识和机械制造等生产实践知识的技术基础课程。虽然研究的是常用机构和通用零件,但其设计理论和方法对于专用机构和零件的设计也具有一定的指导意义。

第二章 机械设计基础总论

第一节 机械设计的基本要求和一般程序

一、机械设计的基本要求

机械设计是一种创造性的实践活动,它要求所设计的产品在完成规定功能的前提下性能好、效率高、成本低,在规定的时间内安全可靠、操作方便、便于维护、造型美观等。

机械设计应满足的基本要求为:

1. 使用要求

为使所设计的机械具有预期的使用要求,必须首先选择适当的机构和合适的传动方案,以保证机械能够变换所需要的运动,并传递所需的动力。

2. 可靠性要求

为使机械在预定的使用期限内始终正常地工作,必须选择适当的零件材料和结构尺寸,以保证零件有足够的强度、刚度、耐磨性、耐热性、振动稳定性等,以保证机器的可靠度 R 达到 90% 或 80% 等。

3. 工艺性要求

机械的构造和零件的几何形状应适应生产条件和规模,要合理地选择毛坯的种类和形状,零件的形状尽量简单,且加工方便并使加工面尽量少,装配与拆卸的工作量尽量少等。

4. 经济性要求

为使机械具有较高的性能价格比,在保证工作可靠的前提下,尽量选择市场供应充分的材料,采用先进的设计理论和设计方法,设计合理的零件结构,以降低机械的制造成本。

5. 操作方便、安全性和环境保护方面的要求

在设计机械时,应从使用者角度出发,努力使机械的操作方便、省力、不易疲劳,并针对其安全隐患,采取严格的防护措施。还应当避免或降低由于机械使用过程中引发的环境污染,如噪声、污物等。应使机械设计向绿色设计和绿色制造方向发展。

6. 标准化要求

标准化程度是衡量一个国家生产技术和管理水平的重要标志之一。标准化工作是我国现行一项很重要的技术政策,因此,机械设计中的全部行为都要满足标准化的要求。所以在

机械设计时除了应尽量选用标准件外,自制件的某些尺寸参数也应参照标准规范来选取。

除了以上要求外,在设计专用机械时,还应考虑其特殊要求。在实际设计时,面面俱到恐怕难以实现,这就要求主次分清,充分满足主要要求,兼顾其次要求。例如,机床的设计以性能好为主要要求;起重机械、矿山机械和冶金机械的设计以保证其安全为主要要求;一般无特殊要求的机械以经济性好为主要要求等。

二、机械设计的一般程序

一个新的机械产品的诞生,从模糊的感觉到某种需求,经过调查分析萌生设计念头,通过分析与综合来明确设计要求开始,历经设计、制造、实验、鉴定直到产品定型,是一个复杂细致的工作过程。在实际设计过程中,这五个阶段是不可截然分开的,往往会交叉进行。所以,设计人员要广泛听取用户和工艺人员的意见,善于把设计信息以图形、文字和语言等各种形式和同事沟通,及时发现和解决设计过程中出现的各种问题。

机械设计的一般过程如图 2-1 所示,机构设计的一般过程如图 2-2 所示。

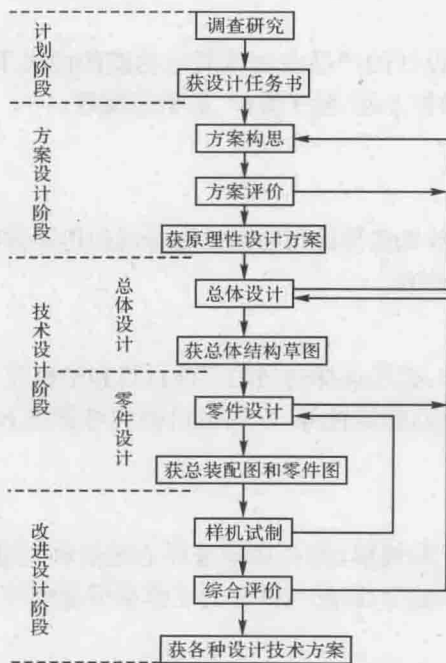


图 2-1 机械设计的一般过程

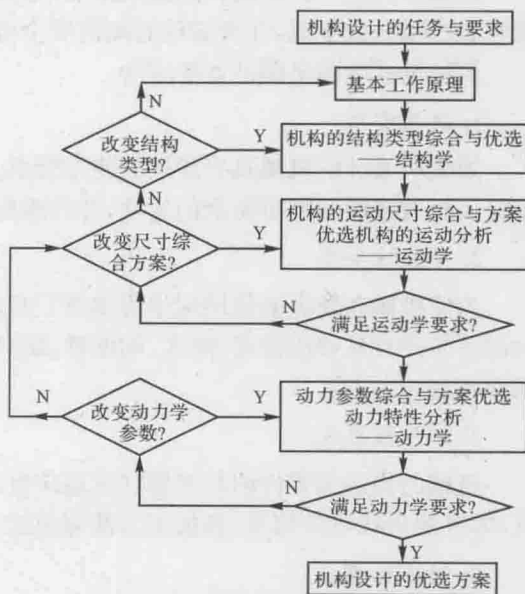


图 2-2 机构设计的一般过程

第二节 机械零件的工作能力和计算准则

机械零件由于某种原因不能正常工作时称为失效。在不发生失效的条件下,零件所能安全工作的限度,称为工作能力。通常,此限度是对载荷而言,所以习惯上亦称承载能力。

零件失效常见的形式有断裂、过大的弹性变形和塑性变形、工作表面的过度磨损、打滑、过热、联接松动、运动精度达不到要求等。应当注意,零件的失效和损坏是两个不同的概念。例如:装有齿轮的转轴,工作时若弹性变形过大,不但影响齿轮的正确啮合,且加速了轴承的

磨损,大大降低了轴承的旋转精度,严重时会发生轴承抱死、机器停转的事故。此时,对轴而言并未损坏,但却不能正常工作了,即失效了。反之,零件已被破坏,就一定不能正常工作,即零件损坏时一定为失效。对于某一个具体的零件,可能产生的失效形式则由其工作条件和受载情况而定。针对各种不同失效形式,所列判定零件工作能力的条件,称为工作能力计算准则。这些准则主要有强度、刚度、耐磨性、振动稳定性等。

以下主要讨论强度条件、刚度条件、耐磨性以及其它工作能力判定条件,必要时可查有关机械设计参考书。

一、强度

机器在理想的平稳工作条件下作用在零件上的载荷称为名义载荷,它是根据名义功率用力学公式计算出作用在零件上的载荷。为考虑实际载荷随时间作用的不均匀性,载荷在零件上分布的不均匀性,以及其他因素的影响而得到的载荷称为计算载荷。计算载荷等于载荷系数 K 与名义载荷 F 的乘积,机械零件的设计计算一般按计算载荷进行。

$$F_{ca} = KF \quad (2-1)$$

式中: F_{ca} ——计算载荷;

K ——载荷系数,它考虑了各种干扰因素的影响;

F ——名义载荷。

按照名义载荷用力学公式求得的应力称为名义应力,按照计算载荷求得的应力称为计算应力。

强度条件是机械零件最基本的计算准则。为使零件能正常工作,设计时必须满足的强度条件是

$$\begin{aligned} \sigma &\leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S} \\ \tau &\leq [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S} \end{aligned} \quad (2-2)$$

式中: σ, τ ——分别为危险截面处的最大正应力和切应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——分别为材料的许用正应力和许用切应力;

$\sigma_{\lim}, \tau_{\lim}$ ——分别为材料的极限正应力和极限切应力;

S ——安全系数。

由式(2-2)可知,许用应力的确定主要是确定零件材料的极限应力和安全系数。

材料的极限应力一般都是在简单应力状态下用实验方法测得的。用式(2-2)可直接计算出在简单应力状态下工作零件的强度条件;对于在复杂应力状态下工作的零件,则应根据材料力学中所述的强度理论确定其强度条件。

极限应力的确定与应力的种类有关。常见的应力状态如图 2-3 所示。

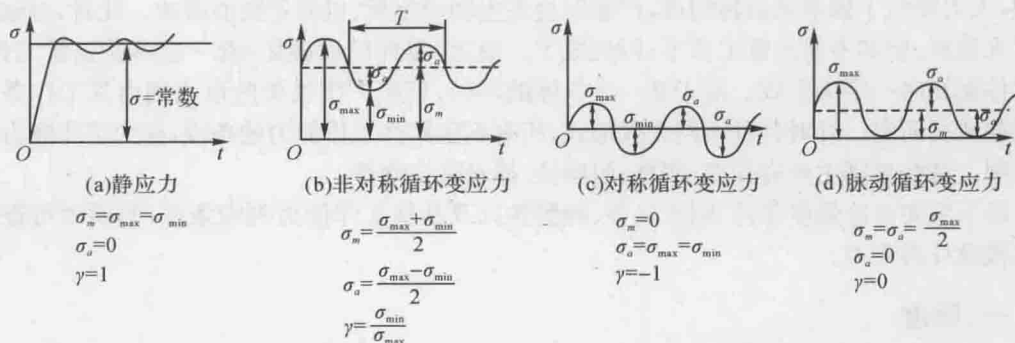


图 2-3 应力的种类

按照随时间变化的情况,应力可分为静应力和变应力。

不随时间变化的(或变化缓慢的)应力,称为静应力[图 2-3(a)]。静应力下工作的零件主要失效形式是断裂或塑性变形。因此,对于塑性材料,取材料的屈服极限 σ_s 作为极限应力,对于脆性材料,取材料的强度极限 σ_b 作为极限应力,则许用应力分别为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} \quad (2-3)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{S} \quad (2-4)$$

随时间变化的应力,称为变应力。具有周期性的变应力称为循环变应力,图 2-3(b)所示为一般的非对称循环变应力,图中的 T 为应力循环周期。图 2-3(c)为对称循环变应力;图 2-3(d)为脉动循环变应力。

在变应力下工作的零件主要失效形式是疲劳断裂。因此,在对称循环变应力作用下,取材料的对称循环疲劳极限 σ_{-1} 作为极限应力;在脉动循环变应力作用下,取材料的脉动循环疲劳极限 σ_0 作为极限应力;在非对称循环变应力作用下,可通过疲劳试验或极限应力图确定材料的疲劳极限。在一般变应力作用下可近似取与之相近的 σ_{-1} 和 σ_0 作为材料的极限应力。

在变应力下,零件的疲劳断裂不同于一般静力断裂,它是损伤到一定程度,即裂纹扩展到一定程度后发生的突然断裂。所以,疲劳断裂与应力循环次数(即使用寿命或期限)密切相关。故根据材料力学,可把表示应力 σ 与应力循环次数 N 之间的关系曲线称为疲劳曲线,如图 2-4 所示。

可以看出,应力越小,试件能经受的循环次数就越多。从大多数黑色金属材料的疲劳试验可知,当循环次数 N 超过某一数值 N_0 以后,曲线趋于水平,即可认为在“无限次”循环时试件将不会断裂。 N_0 即为应力循环基数,对应于 N_0 的应力称为材料的疲劳极限,用 σ_{-1} 表示对称循环变应力作用下的弯曲疲劳极限。

疲劳曲线的左半部($N < N_0$),可近似地用下列方程式表示:

$$\sigma_{-1N}^m N = \sigma_{-1N_0}^m N_0 = C \quad (2-5)$$

式中: σ_{-1N} ——对应于循环次数 N 的疲劳极限;

C ——常数;

m ——随应力状态而不同的幂指数,例如弯曲时 $m=9$ 。

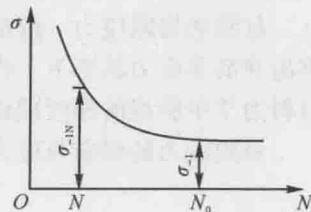


图 2-4 疲劳曲线

从式(2-5)求得对应于循环次数 N 的弯曲疲劳极限

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad (2-6)$$

变应力下,除了要取材料的疲劳极限作为极限应力,同时还应考虑零件的切口和沟槽等截面突变、绝对尺寸和表面状态等影响,为此,引入有效应力集中系数 k_σ 、尺寸系数 ϵ_σ 和表面状态系数 β 等。则当应力是对称循环变化时,其许用应力为

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\epsilon_\sigma \beta \sigma_{-1}}{k_\sigma S} \quad (2-7)$$

当应力是脉动循环变化时,其许用应力为

$$[\sigma_0] = \frac{\epsilon_\sigma \beta \sigma_0}{k_\sigma S} \quad (2-8)$$

式中, k_σ 、 ϵ_σ 、 β 等值可在材料力学或有关设计手册中查得。

以上所述为“有限寿命”下零件的许用应力。零件在整个使用期限内,其循环总次数 N 小于循环基数 N_0 时,可根据式(2-6)求得对应于 N 的疲劳极限 σ_{-1N} 代入式(2-7)后,可得“有限寿命”下零件的许用应力。由于 $\sigma_{-1N} > \sigma_{-1}$,故采用 σ_{-1N} 可得到较大的许用应力,从而减少零件的体积和重量。

以上各式中的安全系数都可用查表法或部分系数法来确定。

安全系数定得正确与否对零件尺寸有很大的影响。如果安全系数定得过大,则使结构笨重;如果定得过小,则又不够安全。

通过长期的生产实践,各个不同的机械制造部门都制定了适合本行业的安全系数(或许用应力)表格供查取,具有简单、具体、可靠等优点,但适用范围较窄。

部分系数法一般是用在无专门表格可查直接确定安全系数的情况下。此时,可取总的安

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (2-9)$$

式中: S_1 ——考虑载荷及应力计算的准确性, $S_1 = 1.1 \sim 1.5$;

S_2 ——考虑材料的力学性能的均匀性,对于锻钢或轧制零件, $S_2 = 1.5 \sim 2.5$;

S_3 ——考虑零件的重要性, $S_3 = 1 \sim 1.5$ 。

二、接触强度

机械零件的强度有整体强度与接触强度之分。前面所述的强度是机械零件的整体强度,是指零件受载时在较大的体积内产生应力,零件的破坏也就发生在较大的体积范围内。对于理论上点接触或线接触的两个零件,当有载荷作用时,由于局部变形使接触处形成小的接触区,在面积很小的接触区表层产生很大的应力,称为接触应力。接触应力的分布如图 2-5 所示。

其最大值用 σ_H 表示。在接触应力作用下零件的强度称为接触强度,它属于表面强度。如齿轮、滚动轴承等机械零件,都是通过很小的接触面积传递载荷的,因此,它们的承载能力不仅取决于整体强度,还取决于表面的接触强度。机械

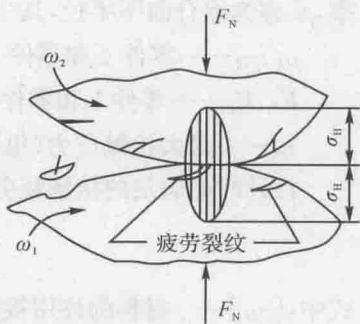


图 2-5 接触应力与疲劳点蚀